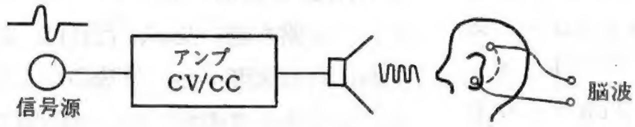
連載 オーディオ計測の散歩道

超音波ははたして聴えるか(1)

——生理的実験の試み

■小倉幸一■

●被検者となった高校生のお嬢さん。測定中は動いてはいけない



〈第1図〉
今回実験の概念図

生理的実験の目的

医学書でないので“的”を付けました．いままでハードの特理特性に焦点を当ててきましたが，この散歩道も少し冒険して見ようと思います．多少踏み固めた道らしきものは見えるのですが，その先は「？」です．アマチュアの特権で試行錯誤を繰り返す時間はありますから，あせらず，時としてハードも考えなおす場合が出てくるでしょう．その時はいままでの散歩道に戻って実験をする．そんな風に考えています．テーマ（生理学的な）を決めて学術的に研究を目指すのではありません．ただ，スピーカからの音を人はどう受け入れているかを知りたいだけです．

生理学的ステップをふんで実験を始めようとすると，その聴覚のメカニズムを勉強して，となりますが，まずは実験を先とします．実は，医学部の学生実習（生理）では，電子計測の基礎，インピーダンスや増幅，ハム雑音，静電・電磁シールド等の話を先にして実習に入りますが，トラブルが起こったとき，それまでの話が役に立ったためしがない．トラブルが起ったときに，それに関してインピーダンスやシールドの話をしたほうが身にしみてよく理解できる．こんな経験から，筆者自身も，ことに対処してそのつど勉強していきたいと思っています．

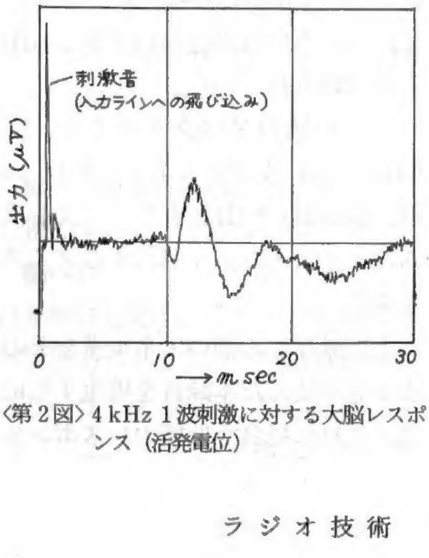
ここでの生理的実験とは

一口にいってしまえば，第1図のように，音刺激の物理的要素に対する聴覚の反応を，脳波をメルクマールにして眺てみよう，ということです．あくまで，生物・物理的実験で結果を聴感覚と結びつけるための実験ではありません．

脳波——一部でオーディオ・システムの評価に使われていますが，いまのところ脳波と聴感特性に1：1の関係は見出されていないと思います．脳のどの部位が音刺激に対してどの程度関与しているかを血流量で見る，これが一般的な脳と刺激との関係を見るのに普及している手法ですが，これからの実験は時間的に直結した手法です．つまり，電極を頭皮につけて，音刺激の脳反応を電気信号として観察しようとのもくろみです．

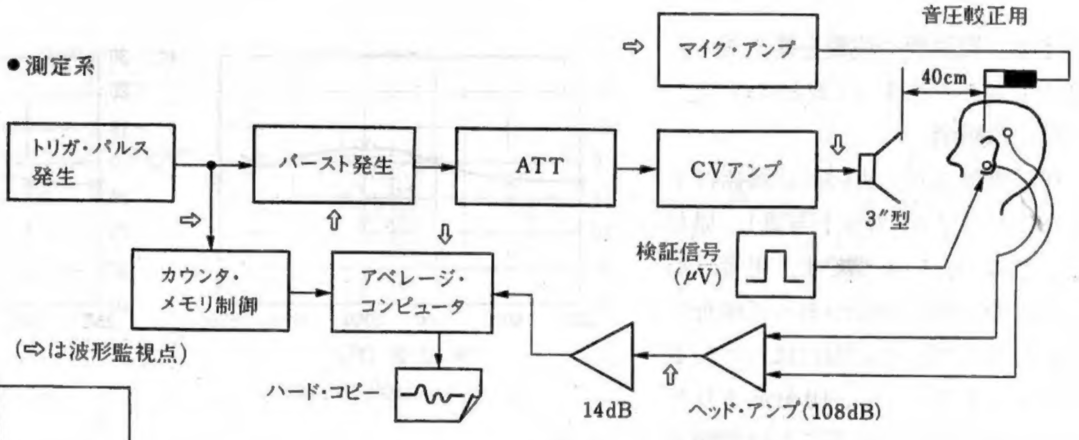
(1) 脳波のおさらい

“脳波”の波というのは波形の波と同じ意味で，脳内の電流変化が頭皮のインピーダンスとの積で電圧に変わったものを電圧増幅してレコーダ

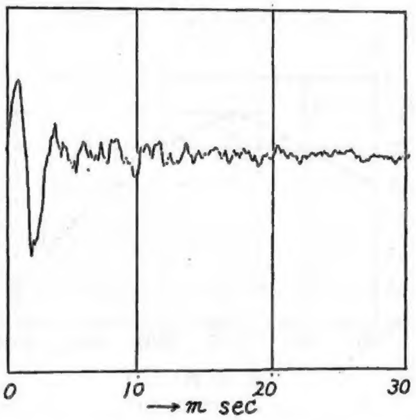


〈第2図〉4 kHz 1波刺激に対する大脳レスポンス（活発電位）

〈第3図〉▶
計測系のブロック・ダイアグラム



▼〈第4図〉
4 kHz 1波のマイク波形



に描かせたものです．電流が流れれば，そこに磁界が発生します．これをとらえて観察する手法もありますが，とてもとても設備の点で真似できるものではありません．

では，その"電流の電源は？"――これは脳をハード的に見ると，すぐ出る疑問です．

一言でいってしまえば，細胞1コ1コが約0.1Vの電池なのです．人の中枢神経系だけでも約1000億のニューロンがあり，さらに数十倍のグリア細胞があります．これらは原始細胞から進化してきたもので，刺激に対してインパルスの発生と伝導を固有の働きとして持つものになったのです．

以上をまとめて神経細胞とよびますが，感覚器では，外からの刺激(音，光…)に対して"興奮"が起こり，約0.1V/1msecの電位変化が発生します．これが神経インパルスですが，さらに突き詰めていくと，シナプス電位，起動電位など，非伝導型の電位変化がそれに関与していることが細胞生理学の分野でつきとめられています．

それはさておき，聴覚では神経インパルスの"伝導"が大脳の聴覚領に達した時，初めて音の到来を感じるわけですが，その途中でいくつかの神経接合部（ミキシング・ポイント）があり，大脳からのフィードバックによる伝導の制御も受けます．そして，これらの興奮と伝導にともなうインパルス群の体液への"もれ"が，先に述べた電流になるわけです．

余談ですが，この細胞電位を直列に継ぐとたいへんな電圧になります．これを実行して数100Vにして使っている電気屋さん(動物)がいます．そう！　電気ナマズなどです．その電圧はナマズの体表面(水中)で昔実測したものですが，時間的には一瞬のものでmsecオーダーです．

いつも前座話が長くなりがちなので，今回は結論から行きます．

(2)　大脳誘発電位

大脳の中は，体の内外からの刺激による電位変化であふれています．心電図，筋電図でおなじみの心臓や筋肉の活動にともなう電位変化，同じもれ電流でもいまは全部ノイズです．ノイズの大物はなんといってもハムです．同じく，脳波もノイズと見てよいでしょう．いま必要なのは，体内活動に伴う電位変化でなく，音刺激に対する"もれ"の変化分なのです．その変化分の実測波形を第2図に示します．

測定系の構成

全体の計測構成は第3図のとおりですが，被検者をはさんで刺激系と記録系とに大別できます．刺激に対する反応，音に対する大脳誘発電位など，この計測では前回まで何度も触れてきた加算平均法（アベレージ法）が主役です．

(1)　刺激系

まず基本実験としてバースト1波を使います．

周波数：4 kHz，1波
繰り返し：0.43秒（中心値）
音圧：115 dBSL（40 cm）
スピーカ：3インチ（強力ハイ・パワー）一般市販品

第4図に刺激音のマイク波形を示しておきます．そしてこの音圧ですが，1波ですから，マイク・アンプのメータの針は少しふれますが，もちろん読みとれません．そこで，この出力波形のP―P値と同じ振幅の連続波でメータ指示値を読みとることにします．ただし，このままでバースト発振器を連続波に切り換えただけではスピーカがもちません．そこで，バースト波で，20 dB音圧を下げた時のリニアリティをチェックしてから，スピーカの安全範囲（−20 dB）で連続波での音圧を測定した結果に20 dBを加算しました．得られた値が上記の115 dBです．

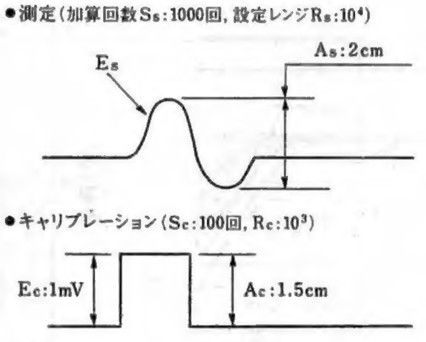
実際に聴いて見ると，かなり刺激

はしていませんが，近所からの騒音は入ってきません．

検証

第2図の波形がほんとうに音刺激に対するレスポンスなのか，ハム・ノイズの残存分ではないか，この波形の意味するところやこの信号の起源点はどこか，よりは，まずその波形の信憑性をチェックしてみます．今回のアベレージ回数は1200回としました．ハム成分が残存してもおかしくない環境なので，検証法として，繰り返し実験によって同じレスポンスが得られるか，ここに主眼をおきました．同じ条件での他のデータを第8図に示します．

ハム混入の様相を示していますが，各図を重ねてみると，第1図波形のピークとディップ点に同じような傾向が見られます．ハム成分の残存の原因は，電極押さえが髪を通してのため，ズレ落ち防止になっても，圧着の役に立たず，そのためからだの少しの動きが電極の動きになり，抵抗の増大等ノイズ増大の原因になった，と考えられ，そのなかで同一時点でのレスポンスが得られたことは，一応の実験（基礎）成功と考えています．



〈第9図〉 アベレージで法の使いかた

検出波形の時間系での検証はまず一安心の結果ですが，振幅の絶対値はどうでしょう．検証してみます．アベレージなしの場合は，キャリブレーションとして振幅のわかっている信号 E_c と入力 E_s とのスクリーン上の振幅の比較で，E_s の絶対値を求めています．

アベレージ法の場合，回数やレンジSWの設定を変えなければ上と同様ですが，キャリブレーションのために入力信号1000回に対し1000回の加算をするのでは芸がなさすぎます．実際は下式にしたがって計算します．

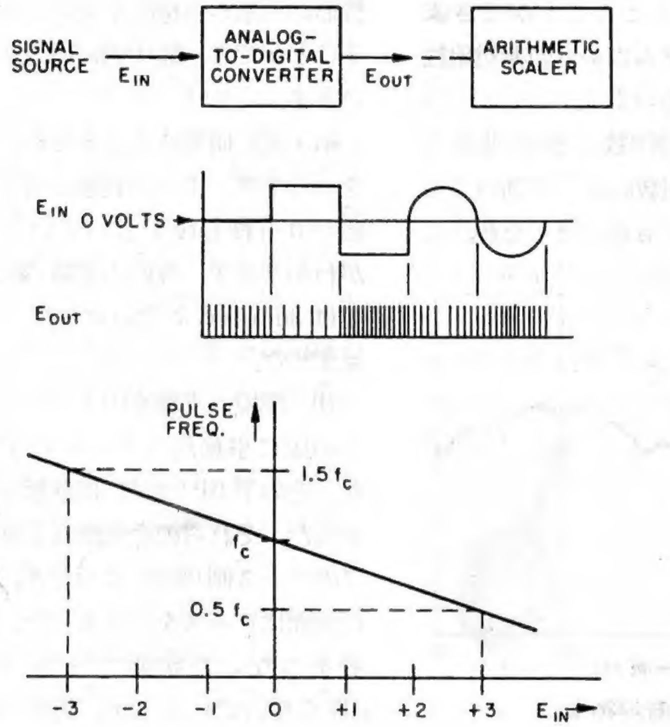
$$E_s = \frac{A_s \times E_c \times S_c \times R_s}{A_c \times S_s \times R_c}$$

- E_s：未知の入力電圧
- E_c：既知のCAL電圧
- A_s：E_s の画面上の振幅(cm)
- A_c：A_s の画面上の振幅(cm)
- S_s：E_s に対する加算回数（測定加算数）
- S_c：E_c に対する加算回数
- R_s：測定時のVertレンジ
- R_c：CAL時のVertレンジ
- ＊Vertレンジとはオシロの V/div と同じ操作SW

この式はたとえば第9図のように使います．ある未知の信号を 10^4 レンジで1000回加算したら20 mmの振幅の波形が得られた．これは何Vだろうか．これを知るために既知の電圧1 mVを 10^3 レンジで100回加算したら15 mmの振幅が得られたので，これを式に当てはめると，入力未知電圧は133.3 μV となり，管面でのcmあたりは66.7 μV/cmとなります．以上の計算には"表計算"を使いました．

この例題に従って第2図をCALすると5.2 μV となりました．この値が正確かどうかはさらに実験を繰り返さなければなりません．ここでの目的が刺激に対する反応を見るというところにあり，病気の診断と目的を異にしていますから，正常値との比較という概念ではデータを見ていません．回を重ねるにつれ，振幅の値が条件にそってある値に落ち着いてくると思います．

以上，とりあえずは検出には成功しましたが，刺激音との関係を云々しての最終結論に対するものではありません．この方法で周波数を上げていった場合，同様に超音波でのレスポンスが認められるかどうか，これか当面の目標です．



●アベレージャの変調と出力特性．
このアベレージャの原理と使いかたについては次号で説明する予定